

В. П. ЗУБАРЬ, канд. техн. наук, **А. Г. ТИМЧУК**, канд. техн. наук,
М. В. ЧОПЕНКО, Харьков, Украина

ЛЕЗВИЙНАЯ ОБРАБОТКА ЗАКАЛЕННЫХ СТАЛЕЙ И ЧУГУНОВ ВЗАМЕН ШЛИФОВАНИЯ.

Розглянуті особливості точіння деталей з загартованих сталей та чавунів замість процесу шліфування. Показані переваги лезової обробки.

Рассмотрены особенности точения деталей из закаленных сталей и чугунов вместо процесса шлифования. Показанные преимущества лезвийной обработки.

The peculiarities of cutting of steel and cast iron parts had been observed. The advantages of blade processing over drinding had been shown.

Появление в промышленности группы новых инструментальных материалов, таких, как сверхтвердые материалы (СТМ) на основе алмаза и нитрида бора позволило внести существенные изменения в металлообработку. И хотя прошло уже немало времени с начала внедрения этого инструмента в промышленность интерес к нему не только не ослабевает, но с каждым годом усиливается. Как показывает опыт ни один новый инструментальный материал не вызывает сегодня такой интерес у промышленности, как сверхтвердые материалы. Это связано, в первую очередь с тем, что они имеют уникальные физико-механические свойства, значительно отличающиеся от традиционных инструментальных материалов, что позволило получить принципиально новые результаты в материалобработке. С другой стороны режущие инструменты из этих материалов хорошо отработаны всеми известными инструментальными фирмами, что позволило обеспечить их высокую производительность и надежность в работе. Нельзя не отметить и тот определенный вклад в науку, и практику резания инструментом из сверхтвердых материалов, какой, одними из первых, внесли работы ученых ХПИ.

Лезвийная обработка инструментами на основе СТМ, как показали исследования, характеризуется рядом особенностей, предопределенных уникальными физико-механическими свойствами этих материалов. Так для инструментов на основе алмаза это высокие твердость, теплопроводность,

модуль упругости, износостойкость, низкий коэффициент трения. Причем в сравнении с традиционным инструментом эти характеристики наивысшие.

Для инструментов на основе нитрида бора твердого эти характеристики несколько уступают алмазному инструменту, но по таким показателям, как теплостойкость и прочность особенно ударная, эти инструменты превосходят алмазные. Так, если теплостойкость алмазных инструментов не превышает 700°C , то для инструментов на основе нитрида бора этот порог почти в два раза выше, что существенно расширяет возможности этого инструмента. При этом наивысшая работоспособность этого инструмента проявляется при достаточно высоких температурах в зоне резания.

К особенностям алмазного инструмента кроме низкого коэффициента трения с многими материалами следует отнести и высокую остроту режущей кромки (малый радиус округления). Это обеспечивает в сочетании с низким коэффициентом трения малую деформацию срезаемого слоя и обработанной поверхности, что приближает процесс алмазной обработки к условиям чистого среза. Малая деформация при высокой теплопроводности алмазного инструмента не способствуют развитию высоких температур в зоне резания. Поэтому процесс лезвийной обработки цветных металлов, пластмасс и ряда других материалов алмазными резцами можно условно назвать «холодным», так как температура в зоне резания практически не превышает 200°C . Низкий уровень температур позволяет производить обработку, которая характеризуется отсутствием температурных превращений в обработанной поверхности, максимально сохраняя структуру основы, что часто очень важно. Отсутствие температурного влияния на обработанную поверхность позволяет снизить и влияние скорости резания на качество обработки и получать лезвийным инструментом такие показатели качества, которые ранее обеспечивала абразивная обработка и даже превзойти их. При этом алмазная обработка инструментом из синтетических алмазов позволяет обеспечить шероховатость обработанной поверхности $Ra \approx 0,2 \text{ мкм}$, а инструментом из природных алмазов $Ra \approx 0,1 - 0,05 \text{ мкм}$.

Как показывает опыт в подавляющем числе случаев производительность лезвийной обработки выше, а ее себестоимость ниже, чем абразивной. Так замена шлифования точением при изготовлении резьбовых сопряжений из стеклопластиков повышает производительность обработки в несколько раз при значительном улучшении качественных и прочностных характеристик полученных сопряжений. Алмазное

фрезерование труднообрабатываемых, высоко абразивных материалов таких, как стеклопластики, углепластики, пластическая керамика и др. многократно производительнее шлифования.

Особенно перспективным является замена процесса шлифования лезвийной обработкой инструментами из СТМ на основе нитрида бора при обработке деталей из закаленных сталей и чугунов. Точение деталей из закаленных сталей резцами из нитрида бора твердого на производстве иногда называют «твердым точением». Здесь преимущества лезвийной обработки проявляются наиболее полно. Для подробного анализа преимуществ лезвийной обработки рассмотрим схемы резания при шлифовании, точении и растачивании Рис 1 и Рис. 2.

Как видно из рисунка, на котором показана схема обработки вала шлифованием и точением, площадь контакта шлифовального круга с деталью значительно превышает площадь контакта резца с деталью. Это превышение составляет десятки или даже сотни раз. В связи с этим работа резания и тепловыделение при шлифовании значительно больше, чем при точении. Таким образом локальность контакта инструмента с деталью при лезвийной обработке и, следовательно, локальность приложения высокой температуры к обработанной поверхности является отличительной особенностью точения и фрезерования в сравнении со шлифованием. Если сравнить длину контакта круга и резца с обрабатываемой деталью в направлении вектора скорости резания то можно увидеть, что при точении она существенно меньше. Скорость (окружная) детали при шлифовании меньше, чем при точении и, следовательно, время воздействия высокой температуры на поверхность детали при шлифовании больше, чем при точении. Поэтому еще одной особенностью процесса точения в сравнении со шлифованием является кратковременность воздействия высокой температуры на обработанную поверхность. Так время воздействия высокой температуры при точении на очень малую поверхность детали менее 0,0001 сек.

Таким образом, локальность и кратковременность воздействия высокой температуры на поверхность детали при лезвийной обработке являются гарантией того, что высокая температура не проникает на большую глубину и не «успевает» произвести существенные фазово-структурные изменения в поверхностном слое детали. Так, если на поверхности детали при точении резцами из нитрида бора закаленной стали температура достигает 1200°С, то, как показывают исследования, на глубине 10 мкм от поверхности она не превышает 100°С.

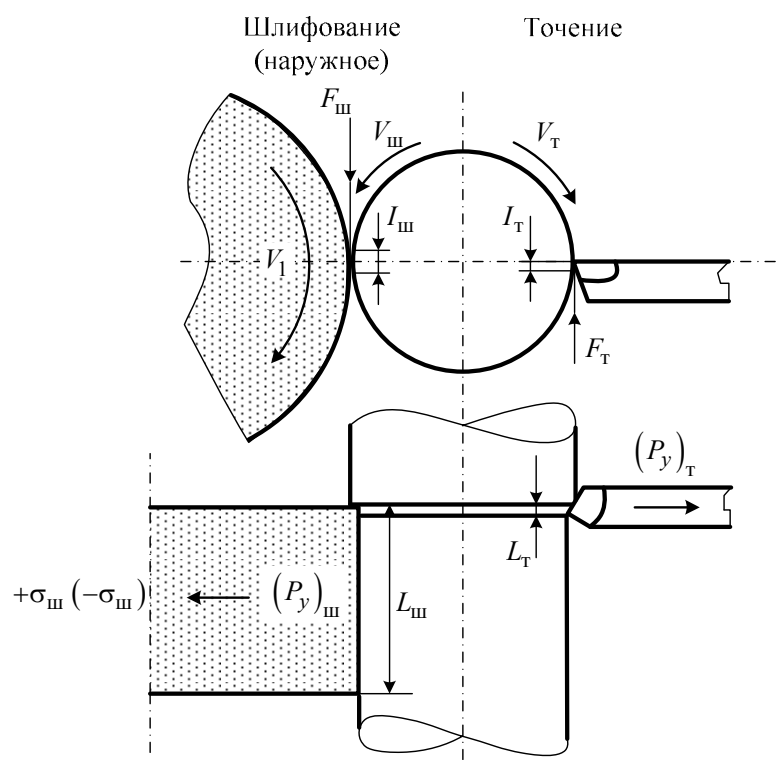


Рисунок 1 – Схема контакта инструмента с обрабатываемой поверхностью при шлифовании и точении:

$$V_{\text{ш}} < V_{\text{т}}; I_{\text{ш}} > I_{\text{т}}; L_{\text{ш}} \gg L_{\text{т}}; F_{\text{ш}} > F_{\text{т}}; T_{\text{ш}} > T_{\text{т}}; N_{\text{ш}} > N_{\text{т}}; A_{\text{ш}} > A_{\text{т}}; E_{\text{ш}} > E_{\text{т}}$$

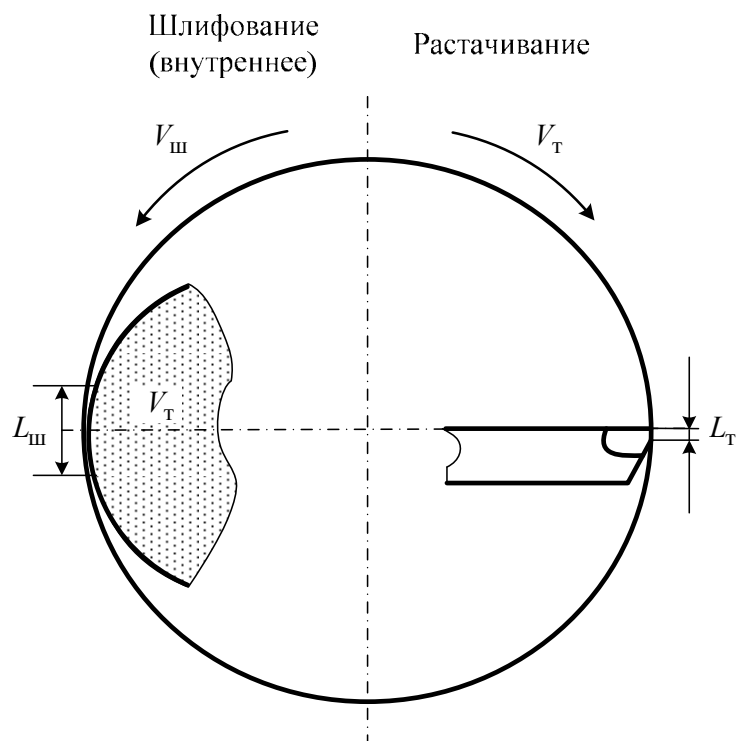


Рисунок 2 – Схема контакта инструмента с обрабатываемой поверхностью при внутреннем шлифовании и растачивании:

$$V_{\text{ш}} < V_{\text{т}}; L_{\text{ш}} < L_{\text{т}}; T_{\text{ш}} > T_{\text{т}}; A_{\text{ш}} > A_{\text{т}}; E_{\text{ш}} > E_{\text{т}}$$

Следовательно, высокие температуры, которые имеют место при точении из-за локальности и кратковременности их воздействия в очень тонких слоях детали, с учетом огромных градиентов могут приводить к аморфизации тончайшего поверхностного слоя детали, чему способствует контакт с таким интенсивным аморфизатором, каким является нитрид бора.

Как известно, наличие тонкой аморфной пленки на обработанной поверхности детали повышает эксплуатационные характеристики последней.

При сравнении внутреннего шлифования и растачивания преимущества лезвийной обработки проявляются еще ярче, так как величина контакта шлифовального круга здесь больше, чем при наружном шлифовании Рис. 2.

И, следовательно, теплонапряженность процесса выше. При внутреннем шлифовании из-за малого диаметра круга и малой длины его поверхности он изнашивается быстрее, что так же повышает теплонапряженность процесса резания.

Если сравнить характеристики качества обработанной поверхности при шлифовании и точении, то можно увидеть, что по таким критериям, как шероховатость точение не уступает шлифованию. Так при точении закаленных сталей резцами из нитрида бора можно обеспечить шероховатость $Ra = 0,3-0,4 \mu\text{м}$. А за счет изменения геометрии лезвийного инструмента можно обеспечить и меньшую шероховатость. По такому критерию шероховатости, как относительная опорная длина профиля t_p шлифование уступает точению. Сравнение остаточных напряжений в поверхностных слоях обработанной поверхности после шлифования и точения показывает, что лезвийная обработка стабильно обеспечивает получение благоприятных сжимающих напряжений в то время, как шлифование - неблагоприятных растягивающих.

Следует отметить, что при точении полностью отсутствуют прижоги, микро и макро трещины в обработанной поверхности. Фазово-структурные изменения в подповерхностном слое при точении минимальны, шаржирование поверхности отсутствует.

Рассмотренные преимущества процесса точения в сравнении со шлифованием иногда игнорируются под тем предлогом, что процесс шлифования производительнее, чем точение. Но всегда ли шлифование производительнее процесса точения? Как показывает анализ сравнения вариантов обрабатываемых поверхностей шлифование далеко не всегда производительнее точения. Так внутреннее шлифование особенно поверхностей малых диаметров многократно проигрывает процессу

растачивания и только при обработке больших диаметров процессы сопоставимы. При замене шлифования на точение при обработке многих деталей из закаленной стали многократные преимущества образуются не только за счет меньшего машинного времени, но и за счет экономии вспомогательного времени. Возможность изготовления на одном станке, ликвидируя обработку на шлифовальном станке – значительно сокращает цикл обработки.

Как показывает опыт работы, особенно зарубежный, сегодня все больше деталей из закаленных сталей обрабатываются лезвийным инструментом, а не абразивным. При этом перспективно не только точение, но и фрезерование. Так, фрезерование чугуновых направляющих металлорежущих станков обеспечивает высокое качество при очень высокой производительности ($V \approx 900$ м/мин. при минутной подаче $S_{\text{мин}} \approx 200-600$ мм/мин) при практически полном отсутствии тепловых деформаций.

Еще одно преимущество выгодно отличающее лезвийную обработку от шлифования – возможность отказаться от применения смазочно-охлаждающих жидкостей СОЖ. Так лезвийная обработка инструментами из синтетических сверх твердых материалов широкой гаммы обрабатываемых материалов, в том числе закаленных сталей и чугунов производится, как правило, без применения СОЖ, что значительно улучшает экологические показатели. Однако, если применение СОЖ допустимо в процессе обработки, то повышается и стойкость инструмента и оптимальная скорость обработки.

Сравнение процесса шлифования с лезвийной обработкой было бы не полным без сопоставления энергетических затрат этих процессов.

Как показывает анализ энергозатрат этих процессов, шлифование является более затратным, причем практически всегда, так как удельная работа резания и мощность, всегда больше при шлифовании. Учитывая актуальность энергозатратных подходов в оценке процесса механообработки, вывод о том, что лезвийная обработка менее энергозатратная, является весьма важным.

Таким образом сравнительный анализ процессов шлифования и лезвийной обработки позволяет сделать вывод о определенных преимуществах последнего перед первым.

Анализируя причины недостаточно интенсивного перехода к процессу лезвийной обработки взамен шлифования там, где это целесообразно, можно сделать вывод о информационном вакууме. Очень мало работ с глубоким и подробным анализом границ и условий эффективного применения лезвийной обработки. В то же время традиционный подход к шлифованию, как окончательному методу обработки часто мешает увидеть и оценить преимущества лезвийной

обработки инструментами из сверхтвердых материалов выгодно отличающие процесс лезвийной обработки от абразивной.

Одной из причин оказавших существенное влияние на широкое внедрение лезвийной обработки закаленных сталей инструментом из сверхтвердых материалов на основе нитрида бора твердого является особенность износостойкости этого инструмента. Как показали исследования, наивысшая работоспособность этого инструмента связана с высокими температурами в зоне резания ($T_1 - T_2$), а, по этому, находится в сравнительно узком диапазоне скоростей резания соответствующему этим высоким температурам Рис 3. Поскольку высокая износостойкость-работоспособность резцов из нитрида бора твердого реализуется в полной мере в сравнительно узком диапазоне скоростей резания ($V_1 - V_2$),

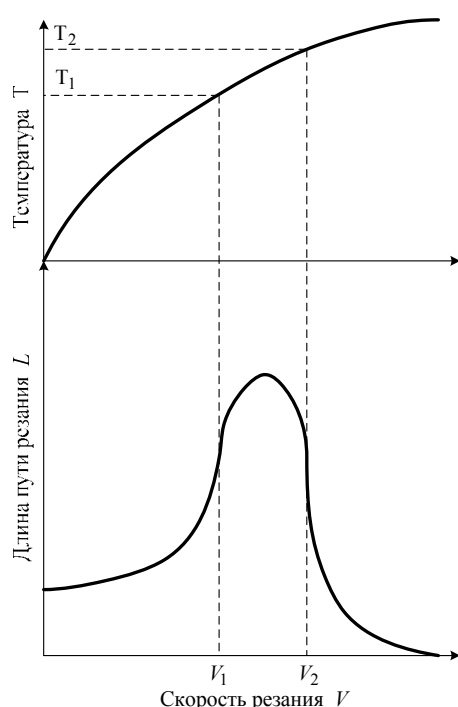


Рисунок 3 – Зависимость длины пути резания и температуры резания от скорости резания

то выход за границы этого оптимального диапазона скоростей резания приводит к интенсивному износу режущего инструмента, что делает процесс лезвийной обработки не эффективным. Причем, что очень важно, работа с малыми скоростями резания (скоростями ниже оптимальных) сопровождается низкой стойкостью режущего инструмента, более низкой, чем твердосплавного инструмента.

Таким образом, неправильно выбранный диапазон скоростей резания при точении закаленных сталей и чугунов резцами из нитрида бора твердого может не только не дать положительный эффект но и дискредитировать весьма прогрессивный инструмент.

Список литературы: 1. К вопросу о замене шлифования лезвийной обработкой. В сборнике "Высокие технологии: тенденции развития". Материалы XII международного семинара. Харьков НТУ ХПИ 2002 г. 2. Особенности применения лезвийных инструментов из сверхтвердых материалов. Сборник научных трудов «Современные технологии машиностроения» Харьков НТУ «ХПИ» 2006 г.